

УДК 621.438.001.2

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ  
ПАРЦИАЛЬНОСТИ ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ СВЕРХМАЛОЙ  
МОЩНОСТИ НА ЕЁ МОЩНОСТНОЙ КПД**

Калабухов Д. С., Радько В. М.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

В работе описана задача определения зависимости мощностного КПД осевой турбины сверхмалой мощности (ТСММ) с полным и парциальным подводом рабочего тела при постоянной частоте вращения ротора  $n$  и степени понижения давления  $\pi_t$  с помощью CFD-пакета Ansys CFX.

Исследования проводились на расчётном режиме работы турбины с параметрами  $\pi_{тp} = 5$ ,  $n_p = 35000 \text{ мин}^{-1}$  и параметра нагруженности  $Y_{тp} = 0,18$ . Основные геометрические параметры турбины: средний диаметр  $D_{cp} = 50 \text{ мм}$ , высота лопатки соплового аппарата (СА)  $h_{CA} = 1,25 \text{ мм}$ , высота лопатки рабочего колеса (РК)  $h_{PK} = 2,25 \text{ мм}$ . Величина осевого зазора между СА и РК составляет  $0,6 \text{ мм}$ , радиальный зазор равен  $0,9 \text{ мм}$ . Лопатки СА имеют сверхзвуковой профиль, эффективный угол выхода потока  $\alpha_{1эф} = 13^\circ$ , удлинение  $(s/h)_{CA} = 4,1$ , «горло» канала СА  $a_{г CA} = 1,44 \text{ мм}$ . Лопатки РК активные, угол выхода потока  $\beta_{2эф} = 20^\circ$ , удлинение  $(s/h)_{PK} = 3$ .

В процессе проведения расчётных экспериментов варьировалась степень парциальности турбины  $\varepsilon$ , характеризующая полноту впуска рабочего тела в СА. Значения  $\varepsilon$  принимались равными  $0,1$ ,  $0,25$ ,  $0,5$  и  $1$  (полный впуск), которым соответствовало количество межлопаточных каналов СА, равное  $2$ ,  $5$ ,  $10$  и  $20$ , соответственно. Количество лопаток РК оставалось неизменным и равнялось  $31$ .

Численное моделирование выполнялось как в стационарной (Frozen Rotor), так и в нестационарной постановке задачи (Transient Rotor Stator). Сопряжение СА и РК выполнено без осреднения параметров по окружному направлению, стенки моделировались с шероховатостью  $16 \text{ мкм}$ , теплообмен на стенках отсутствовал. Рабочим телом служит идеальный газ. Расчёты проводились на неструктурированной тетраэдральной сетке с призматическими слоями у твёрдых стенок. В качестве модели турбулентности была использована модель Ментора SST с поправкой на кривизну линий тока.

Сравнение КПД-характеристик, полученных в результате регрессионного анализа проведённых ранее натуральных и вычислительных экспериментов, показано на рисунке 1.

Из рисунка следует, что способ постановки задачи моделирования значительно влияет на величину мощностного КПД турбины  $\eta_t$ . Также из рис. 1 можно сделать вывод о том, что моделирование рабочего процесса в ТСММ с полным впуском допустимо проводить в стационарной постановке. В этом случае величина  $\delta\eta_t = 3,3\%$  лежит в области доверительного интервала по натурному определению КПД, который составил  $\pm 4\%$ .

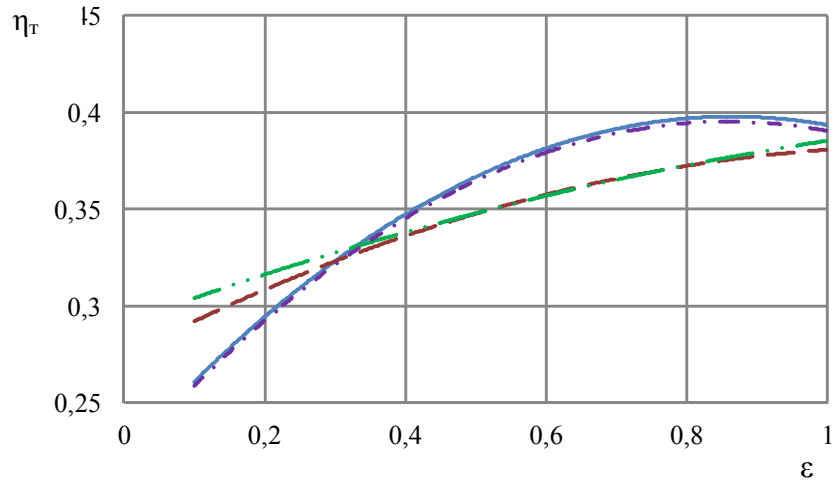


Рис. 1. Сравнение расчетных зависимостей мощностного КПД осевой ТСММ от степени парциальности с данными натурального эксперимента:

— натурный эксперимент; — Frozen Rotor;  
 - - - Transient ( $Ku = 8$ ); - - - Transient ( $Ku = 1$ )

Расчёт нестационарного потока обеспечивает более точные результаты, чем расчёт стационарного в качественном и количественном отношении. Это объясняется существенной нестационарностью рабочего процесса в РК ТСММ, которая особенно проявляется в парциальных турбинах за счёт вентиляционных и краевых потерь. Выявлено, что на результат численных исследований влияет число Куранта  $Ku$ . В случае числа  $Ku = 1$  результаты численного определения  $\eta_t$  практически совпадают с данными натурального эксперимента (относительная погрешность расчётного определения КПД  $\delta\eta_{t \max} = 0,8 \%$  при  $\varepsilon = 0,1$ ), что свидетельствует об устойчивости решения и корректном задании условий и допущений численного газодинамического моделирования.